

*Девід Віт (David Wheat), Я. В. Стельмашенко, О. І. Фарина*

---

**Системно-динамічні моделі: основні етапи  
побудови моделей системної динаміки  
на практиці з використанням програмного  
пакета iThink 10**

*Практичний посібник для роботи в комп'ютерному  
класі з системною динамікою*

---

УДК 004.451.2/.6:33.01

В 54

**Рецензенти:**

*Панченко О. І.*, канд. екон. наук, доцент кафедри фінансів Чернігівського технологічного університету

*Шумська С. С.*, канд. екон. наук, провідний науковий співробітник ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України»

*Ухвалено до друку Вченою радою Національного університету  
«Києво-Могилянська Академія»  
(протокол № 9 від 28 листопада 2013 року).*

**ISBN 978-966-2410-49-5**

© НаУКМА, 2013  
© Девід Віт (David Wheat), 2013  
© Я. В. Стельмашенко, 2013  
© О. І. Фарина, 2013

# ЗМІСТ

---

Вступ .....	4
1. Доцільність використання Ithink-моделей на практиці. Короткий огляд застосування пакета Ithink .....	5
2. Короткий огляд вікна Ithin .....	7
3. Процес моделювання в середовищі Ithink .....	9
4. Практичний кейс 1. Приклад побудови моделі банківського рахунку в середовищі Ithink .....	10
5. Практичний кейс 2. Приклад побудови моделі сектора споживання домогосподарств України в середовищі Ithink .....	30
Список літератури .....	55

## Вступ

Ефективне застосування системної динаміки неможливе без розуміння історії та принципів методу. Системна динаміка (СД) – це комп'ютерний метод аналізу та моделювання поведінки динамічних систем. Він застосовується для вирішення динамічних проблем, що виникають у складних системах, які характеризуються взаємозалежністю, внутрішньою взаємодією, системою зворотнього інформаційного зв'язку та циклічним причинним зв'язком.

Галузь системної динаміки бере свій початок 1961 року з роботи Джея У. Форрестера «Індустріальна динаміка», яка й досі вважається вагомим методологічним та філософським внеском у наукову спільноту системної динаміки. Вже протягом декади після публікації цієї праці СД почав використовуватися не лише для вирішення корпоративних та індустріальних проблем, але й для глобальних проблем на кшталт кризи зростання кількості людей у світі вичерпних ресурсів. Сьогодні метод застосовується як в економіці, державній політиці, дослідженні навколишнього середовища, обороні, так і у менеджменті.

У цьому посібнику ми розглянемо особливості застосування системно-динамічного моделювання до вирішення економічних задач на макро- та мікрорівнях.

# 1. Доцільність використання iThink-моделей на практиці. Короткий огляд застосування iThink

Програмний пакет iThink призначений для перетворення моделей прийняття рішень в імітаційні моделі. Основний акцент в роботі з ним робиться на формуванні у користувача вміння приймати рішення, які є необхідними для дослідження систем зі складними взаємозалежними зв'язками між підсистемами. Програма широко використовує функціональні елементи для графічного зображення потоків, запасів та ефектів впливу неформалізованих факторів.

Широкого застосування цей пакет набув у бізнес-моделюванні. За допомогою iThink можна моделювати, а потім імітувати всі бізнес-процеси і сценарії в компанії. Така можливість дозволяє оцінити наслідки від нововведень у бізнес-середовищі і по можливості запобігти всім небажаним наслідкам для компанії.

Розглянемо основні характеристики цього програмного продукту.

## 1.1. Представлення та моделювання:

- інтуїтивно простий інтерфейс;
- можливість моделювання мовою системного мислення в термінах потоків і запасів;
- причинно-наслідкові діаграми для представлення всіх причинно-наслідкових зв'язків;
- вдосконалені типи запасів, що дозволяють включити в модель не тільки дискретні, а і неперервні процеси з підтримкою черг та інших розширень конвеєрів;
- рівняння моделі генеруються автоматично і доступні на вкладці рівняння;
- вбудовані функції полегшують використання математичних, статистичних та логічних операцій;
- структура моделі представлена багатовимірними масивами;
- файли моделі, написані на XML, підтримують новий стандарт для обміну моделями системної динаміки;
- модулі підтримують багаторівневі ієрархічні структури моделі, які можуть бути «будівельними блоками» для побудови моделі.

## **1.2. Імітація та аналіз:**

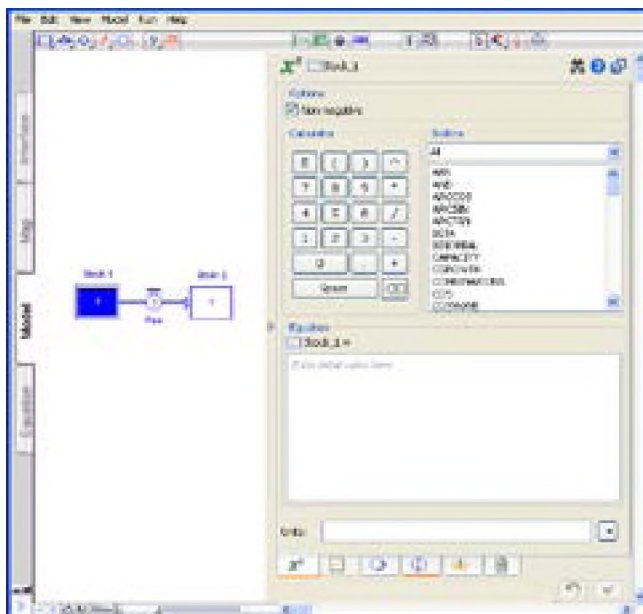
- меню Run, що дозволяє імітувати модель;
- аналіз чутливості (Sensitivity analysis) показує ключові важелі та точки оптимуму в моделі;
- можливість протестувати частину моделі ізольовано дозволяє якісно проаналізувати та оцінити роботу певного сектора моделі;
- результати можна представити у вигляді графіків, таблиць, анімацій, фільмів QuickTime та файлів;
- наявність окремих архівів Data Manager та спеціальних баз даних SQLite, де зберігаються результати попередніх імітацій;
- динамічний імпорт/експорт даних з Microsoft® Excel чи CSV-файлами.

## **1.3. Засоби взаємозв'язку:**

- спеціальні імітатори та панелі, за допомогою яких можна легко описувати компоненти моделі;
- інструменти моделі з ручками, повзунками, перемикачами і кнопками;
- зображення результатів у вигляді текстів, графіків, таблиць та звітів;
- можливість крок за кроком описувати модель за допомогою опції Storytelling;
- можливість публікувати та обмінюватися моделями в Інтернеті за допомогою NetSim;
- можливість робити повноекранну презентацію моделі за допомогою isee Runtime;
- підтримка мультимедіа для графіки, відео, звуків і текстових повідомлень;
- система безпеки, яка дозволяє захистити моделі паролем від стороннього користування.

## 2. Короткий огляд вікна iThink.

На рис. 2.1. зображено стандартне вікно iThink. Умовно його можна поділити на такі області:



**Рис. 2.1.** Вікно iThink

Вкладки (Tabs), які розташовані в лівій частині вікна, надають доступ до різних рівнів моделі: інтерфейс, представлення, моделі й рівняння. Кожний рівень можна використовувати, щоб представити модель різними способами. Вкладка Interface використовується для створення інтерфейсу моделі для кінцевого користувача. Вкладка Map корисна на етапі розробки структури моделі. На ній за допомогою зручних інструментів можна викласти свої ідеї щодо структури моделі, не турбуючись про деталі та початкові значення. Також її широко використовують для написання документації моделі. Вкладка Model – це вкладка, де безпосередньо створюється модель. Вкладка Equation: цю вкладку використовують для того, щоб переглянути список усіх рівнянь, що належать моделі.

Панелі (Panels) в правій частині вікна дозволяють задати і редагувати властивості вибраного компонента моделі. До таких властивостей належать рівняння, документація, пов'язані блоки та ін.

Рядок меню (menu bar) і панель інструментів (toolbar) у верхній частині вікна надають доступ до команд, потрібних при створенні моделі. Нижче наведено основні інструменти, які найчастіше використовуються для цього.



**Запас (Stock)** – це накопичувач. Він збільшується за рахунок вхідних потоків та зменшується за рахунок вихідних потоків. Натисніть і утримуйте цей інструмент, щоб вибрати в меню різні типи запасів.



**Потік (Flow)** – робота потоків полягає у збільшенні та зменшенні запасів. Натисніть і утримуйте цей інструмент, щоб вибрати в меню різні типи запасів.



**Конвертор (Converter)** – конвертори використовуються для вставки в модель значень констант, зовнішніх вхідних даних, алгебраїчних відношень і графічних функцій. Натисніть і утримуйте цей інструмент, щоб вибрати з меню різні типи запасів.



**З'єднувач (Action Connector)** – він використовується для приєднання елементів моделі один до одного. Натисніть і утримуйте цей інструмент, щоб вибрати з меню різні типи запасів.



**Модулі (Module)** – це автономні моделі, які можна підключити до інших моделей. Модулі дозволяють розділити одну модель на чітко визначені частини. Кожний модуль у рамках моделі є цілісною моделлю, яку можна запустити окремо або в рамках ширшої моделі.



**Панель графіків (Graph Pad)** – використовується для графічного зображення даних, що генеруються під час імітації моделі. Програмне забезпечення підтримує три основні типи графіків: графіки часових рядів, діаграми розсіювання (scatter) та гістограми (bar graphs).



**Панель таблиць (Table Pad)** – на панелі таблиць можна зобразити числові значення обраних елементів моделі.

Меню Run, що розташоване в нижній лівій частині вікна, забезпечує швидкий доступ до багатьох команд, призначених для імітації моделі. Також це меню дає можливість спостерігати та за бажанням контролювати процес імітації.



### 3. Процес моделювання в середовищі iThink

Процес моделювання в середовищі iThink можна розділити на такі етапи.

**1. Визначте основну мету побудови моделі, проблему, яку треба вирішити, чи структуру, яку ви хочете описати.**

Визначте для себе основну мету і, будуючи модель, кожного разу перевіряйте її відповідність завданням, які потрібно вирішити.

**2. Визначте межі моделі.**

Визначте, наскільки деталізованою має бути модель. Які елементи треба включити в неї, а які ні. Основним критерієм прийняття рішення про межі моделі є відповідність елементів моделі меті.

**3. Зобразьте модель.**

Використовуйте вкладку Map, яка дозволяє зв'язати будь-яку послідовність елементів, не визначаючи початкові числові значення, рівняння та одиниці виміру. На цьому етапі ви будете структурувати модель.

**4. Побудуйте модель.**

Після оформлення структури моделі у вкладці Map ви маєте при-своїти всім елементам моделі числові значення та необхідні функції. Цей етап побудови моделі реалізовано у вкладці Model за допомогою додаткових панелей функцій, графіків тощо.

**5. Протестуйте модель.**

Запустіть модель за допомогою меню Run. На цьому етапі у вас з'явиться можливість знайти в моделі помилки, хибні значення тощо. Приберіть знайдені проблеми, а потім знову запустіть модель. Продовжуйте тестувати і виправляти, поки не переконаєтесь, що всі проблеми усунено і модель працює правильно.

**6. Створіть інтерфейс.**

Якщо ви збираєтесь представляти свою модель перед аудиторією, вам необхідно створити зручний інтерфейс. Для цього додайте допоміжні об'єкти у вкладку Інтерфейс.

**7. Продемонструйте модель.**

Використовуйте такі інструменти, як isee RunTime™, isee Player™ та isee NetSim™, за допомогою яких можна викласти модель в мережу Інтернет.

## 4. Практичний кейс 1. Приклад побудови моделі банківського рахунку в середовищі iThink

Для глибшого розуміння роботи пакета iThink та специфіки системно-динамічного моделювання розглянемо практичний кейс 1 в пакеті iThink.

**Практичний кейс 1.** *Студент відкрив кредитний рахунок у 5000 грн для користування грошима під час навчання. Щомісячна плата за користування кредитною картою становить 1,7 % від суми боргу. Кожного місяця він витрачав 500 грн з рахунку. Щоб погасити витрачені кошти та поступово погашати борг, він сплачував банку 550 грн на місяць. Проте несподівано для студента за 4 роки користування рахунком борг зріс до 7500 грн.*

1. Побудуйте модель, яка відтворює логіку студента. Зобразіть на графіку зміну суми боргу за 4 роки.

2. Знайдіть помилку у плануванні студента. Доведіть, чому борг мав зростати, та зобразіть на графіку «поведінку» боргу в часі. Додайте до моделі елементи, яких бракує. Змініть модель так, щоб борг зменшувався.

3. Побудуйте модель, за якої борг погашається приблизно за 3 роки та за один рік.

1. Побудуйте модель, яка відтворює логіку студента. Зобразьте на графіку зміну суми боргу за 4 роки.

Для вирішення цього завдання в термінах системної динаміки побудуємо просту модель, яка відповідає уявленням студента про процес погашення боргу.

1. Відкрийте iThink. Ви зразу опиняєтесь у новому файлі формату itmх чи itm – залежно від версії. Збережіть файл з назвою Credit card debt.

2. Перейдіть у вкладку Модель (Model Layer). Це можна зробити безпосередньо у вікні або натиснувши Ctrl+3.

3. Оскільки одиниці часу в завданні – це місяці, потрібно належно специфікувати модель. Для цього на панелі меню виберіть Run/Run Specs... Процес специфікації одиниць часу в пакеті iThink наведено на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Специфікація одиниць часу в пакеті iThink


Вікно Run Specs, що з'явилося перед вами, заповніть так, як зображено на рис. 4.2.



Рис. 4.2. Специфікація одиниць часу в пакеті iThink. Вікно Run Specs

На цьому етапі моделювання основними параметрами моделі є одиниці часу та тривалість симуляції. У нашому випадку одиниці часу – це місяці, а тривалість симуляції – 100 місяців.

4. Тепер можна переходити безпосередньо до моделювання. Одним з найрозповсюдженіших підходів моделювання у системній динаміці є метод визначення основного запасу. Тобто спершу потрібно знайти той запас, в якому зосереджена мета моделювання або основна проблема. Потім до цього основного запасу поступово додати вхідні та вихідні потоки разом із побічними запасами, конверторами, модулями тощо.

Очевидно, що найголовнішою проблемою є борг кредитного рахунку студента. Тому створимо перший запас з назвою Credit card debt. Для цього на панелі інструментів виберіть значок  (Stock) та вставте його в простір файлу. Виділену чорним назву Noname 1 поміняйте на Credit card debt. Після цього натисніть лівою клавішею миші на запас Credit card debt, щоб визвати меню панелей. У вікні панелей виберіть панель рівнянь і введіть початкове значення боргу 5000. Після цього натисніть галочку (Apply) в правому нижньому кутку панелі, щоб підтвердити зміни в моделі. Деталі можна подивитися на рис. 4.3.

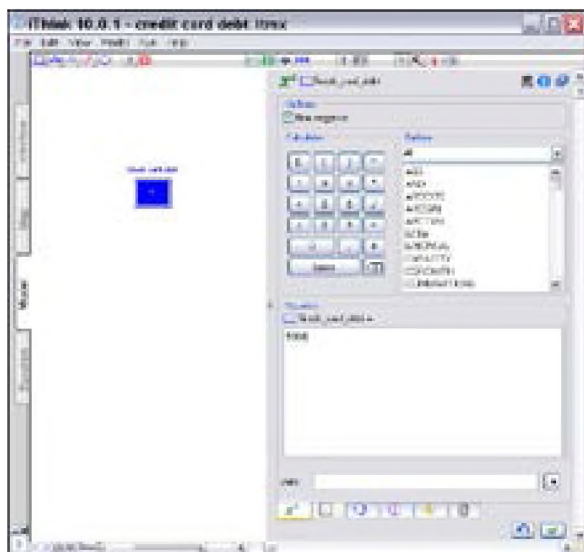



Рис. 4.3. Створення та ініціалізація запасу Credit card debt

5. Далі необхідно визначити основні компоненти моделі, що пов'язані з цим запасом. Очевидно, що борг поповнюється щомісячними витратами студента, що складають 500 грн на місяць. Тобто, іншими словами, щомісяця потік грошей у розмірі 500 грн збільшує запас боргу. Щоб відобразити це в моделі, достатньо вибрати на панелі інструментів значок потоку  (Flow) та під'єднати його до запасу Credit card debt. Для того щоб потік збільшував запас, необхідно приєднати його стрілкою, спрямованою до запасу. Аналогічно

замість виділеної чорним назви Noname 1 назвіть його debt addition rate. Процес створення потоку показано на рис. 4.4.

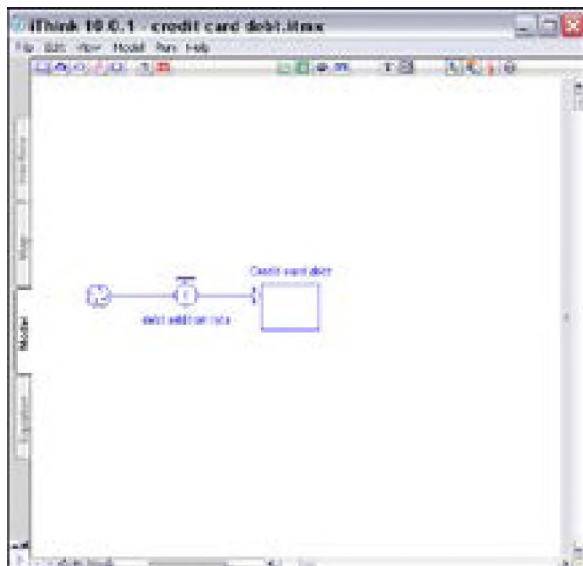




Рис. 4.4. Створення та ініціалізація потоку debt addition rate

6. Оскільки сума витрат студента однакова щомісяця і становить 500 грн, зручно створити окремо конвертор з фіксованою сумою грошей і під'єднати його до вхідного потоку. Якщо раптом на цей потік впливатимуть ще якісь непередбачувані витрати, вам не треба буде міняти весь потік, а лише приєднати додатковий конвертор. Отже, на панелі інструментів необхідно вибрати конвертор , вставити його у файл і назвати purchases. Подвійним кліком лівої клавіші миші знову відкрийте вікно панелей і введіть необхідну суму у 500 грн. Для того щоб з'єднати конвертор з потоком, виберіть з'єднувач , виділіть ним конвертор і протягніть стрілку до кружечка посередині потоку debt addition rate. Цього разу, щоб ініціалізувати потік debt addition rate через конвертор purchases, необхідно два рази натиснути на кружечок посередині потоку, увійти в панель рівнянь та у верхньому вікні Required inputs вибрати потрібний конвертор. Під'єднати необхідні елементи можна, натиснувши галочку. Ство-

рення та під'єднання згаданого вище конвертора детально зображено на рис. 4.5.

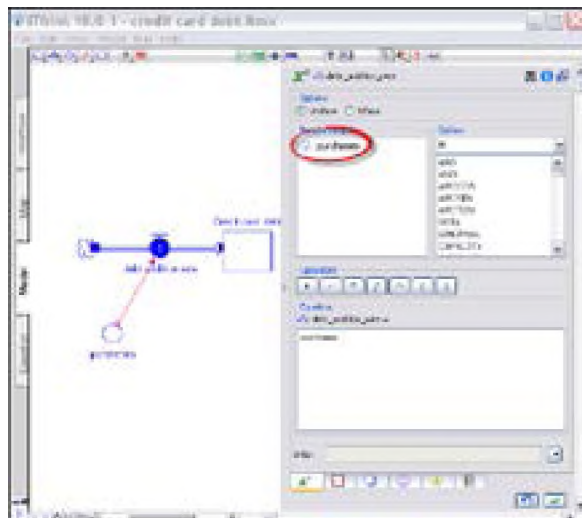


Рис. 4.5. Створення та під'єднання конвертора purchases

7. Тепер перейдемо до тих елементів моделі, що зменшують запас. Так, з кейса відомо, що студент сплачував до банку 550 гривень на місяць для компенсації поточних витрат та поступового погашення боргу у розмірі 50 гривень щомісяця. В iThink це можна представити як потік грошей, що вичерпує запас боргу. Отже, виберіть потік з панелі інструментів і приєднайте його справа від запасу стрілкою, що направлена від потоку. Оскільки він зменшує суму боргу, назвіть його debt reduction rate. Процес приєднання зображений на рис. 4.6.

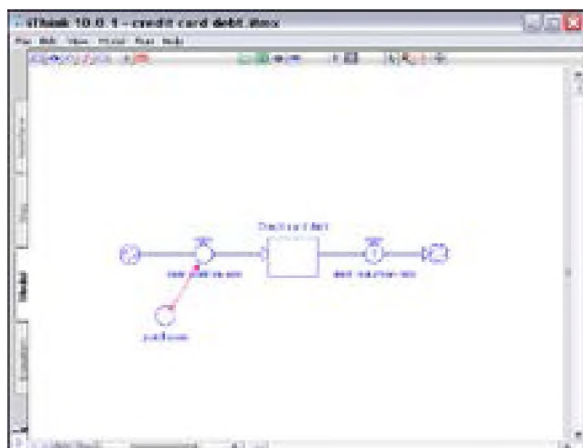


Рис. 4.6. Створення та під'єднання вихідного потоку debt reduction rate

8. Для ініціалізації потоку, як і в пункті 4, створіть конвертор з назвою payments, уведіть суму 550 гривень та під'єднайте з'єднувачем до потоку. Модель, що має вийти, зображено на рис. 4.7.

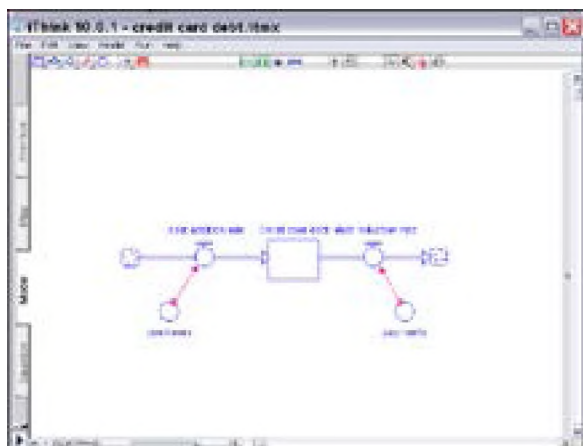

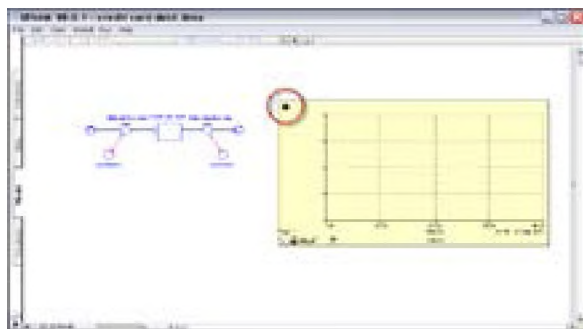


Рис. 4.7. Створення та під'єднання конвертора payments

9. Нарешті, перед вами модель банківського рахунку, що відповідає уявленням студента про перебіг подій з його коштами. Тепер

просимулюйте модель на 100 місяців. Для того щоб простежити за поведінкою розміру запасу в динаміці, можна використовувати таблиці чи графіки. Подивимося на запас у часі на графіку. Для цього на панелі інструментів виберіть панель графіків  та вставте її у порожнє місце файлу. Для того щоб закріпити графік на потрібному вам місці, натисніть на чорний кружечок у лівому верхньому кутку графіка. Такий графік зображено на рис. 4.8.



**Рис. 4.8.** Закріплення панелі графіків у файлі моделі

10. Тепер два рази натисніть лівою клавішею миші на графіку, щоб визвати меню графіка. Як зображено на рис. 4.9, знизу, з лівого списку елементів моделі, в правий список вам необхідно перенести ті об'єкти, які ви хочете побачити на графіку. Також у полях знизу можна виставляти діапазон значень, у межах яких ви хочете зобразити графік. У нашому випадку на графіку треба зобразити поведінку запасу боргу студента, отже потрібно вибрати запас Credit card debt. Натисніть ОК і модель готова для симуляції.





Рис. 4.9. Меню графіків в пакеті iThink

Щоб зобразити поведінку запасу, натисніть кнопку Run у лівому нижньому кутку вікна (або комбінацію клавіш Ctrl+R). Кнопка Run та результати симуляції наведено на рис. 4.10.

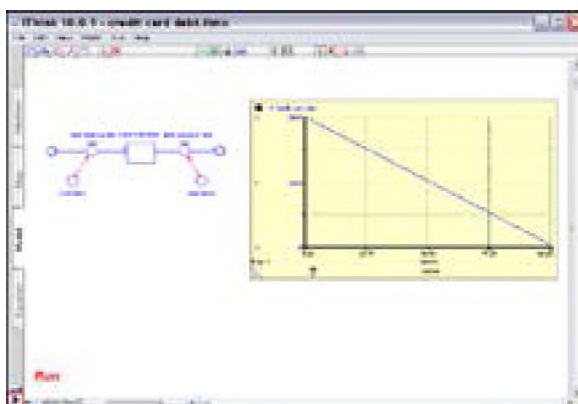


Рис. 4.10. Результати імітації побудованої моделі

Отже, як можна побачити з графіка, за логікою студента, борг дійсно мав поступово погашатись і становити 2600 грн на кінець 48 місяця.

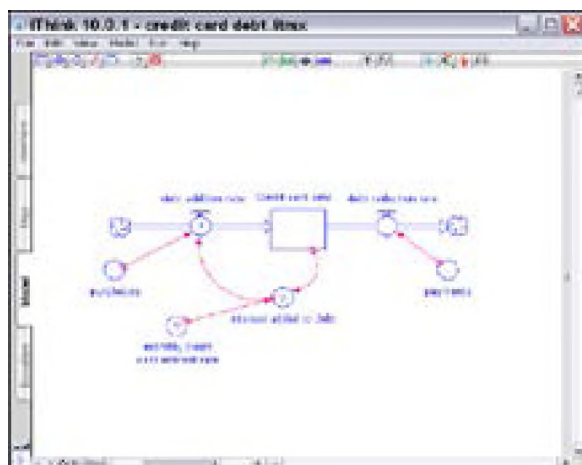
Постає питання, у чому ж тоді проблема? Чого не врахував студент?

2. Знайдіть помилку у плануванні студента. Доведіть, чому, за

*його фінансовим планом, борг мав зростати, та зобразьте на графіку «поведінку» боргу в часі. Додайте до моделі елементи, яких бракує. Змініть модель так, щоб борг зменшувався.*

Основною проблемою студента був факт неврахування плати за обслуговування карти у розмірі 1,7 % від суми боргу. Адже навіть перший внесок від суми боргу у 5000 грн складатиме 85 грн ( $0,017 \cdot 5000$ ), що вже перевищує ті 50 гривень, на які розраховував студент. Додайте цей елемент у модель.

1. Щоб додати ефект відсотка у модель, треба ввести процедуру, що кожного місяця вираховуватиме вказаний відсоток грошей з накопиченого боргу і додаватиме його до цього боргу. Skorистаємося конверторами. Оскільки ставка відсотка не змінюється з часом, для неї можна створити конвертор з назвою *monthly credit card interest rate*. Потрібен також конвертор, що буде множити розмір боргу (запас) на ставку відсотка щомісяця. Для цього створіть окремий конвертор для процедури множення і назвіть його *interest added to debt*. Після створення зазначених вище конверторів з'єднайте їх, як показано на рис. 4.11 знизу.



**Рис. 4.11.** Створення та з'єднання конверторів для додавання в модель процедури нарахування відсотків

Тепер поступово ініціалізуйте кожний новий елемент моделі. Значення *monthly credit card interest rate* відомо і становить 1,7 % (або

0,017). Процес ініціалізації наведено на рис. 4.12.

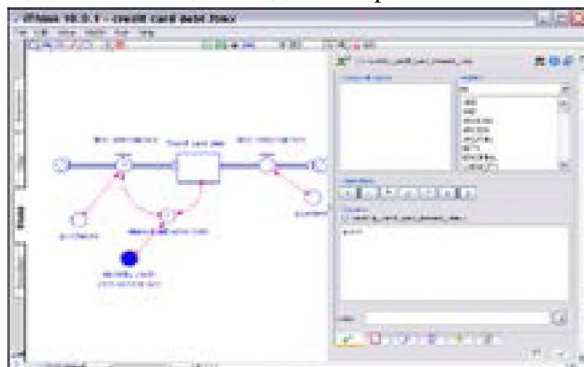


Рис. 4.12. Ініціалізація конвертора monthly credit card interest rate

У конверторі interest added to debt має вираховуватися та частина боргу, яка йде на обслуговування картки щомісяця. Тому, натиснувши на нього два рази лівою клавішею миші, треба визначити його як добуток між двома обраними в полі Required Inputs елементами на панелі рівнянь: Credit\_card\_debt та monthly\_credit\_card\_interest\_rate. Процес ініціалізації цього конвертора показано на рис. 4.13.

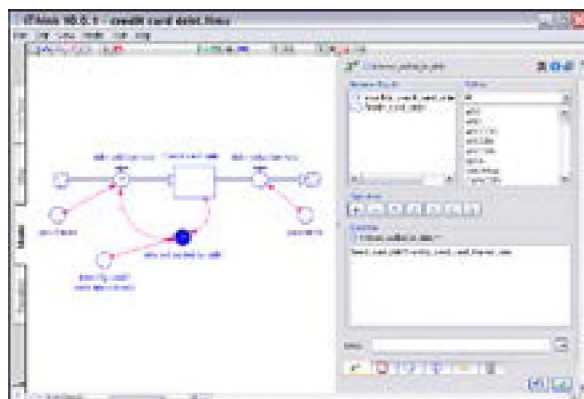


Рис. 4.13. Ініціалізація конвертора interest added to debt

Далі отриманий добуток потрібно включити в потік, що збільшує запас боргу кожного місяця. Тому, розкривши елемент моделі debt addition rate, додайте до вже включеного доданку purchases конвер-

top interest added to debt, як зображено на рис. 4.14.

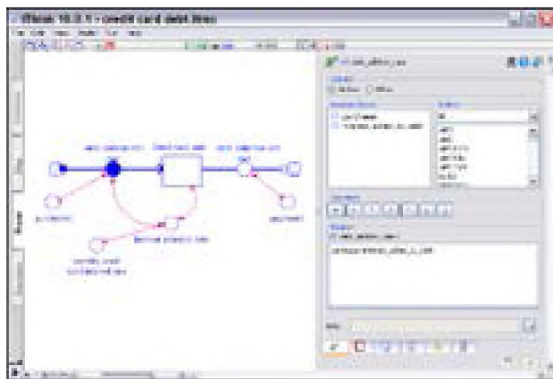


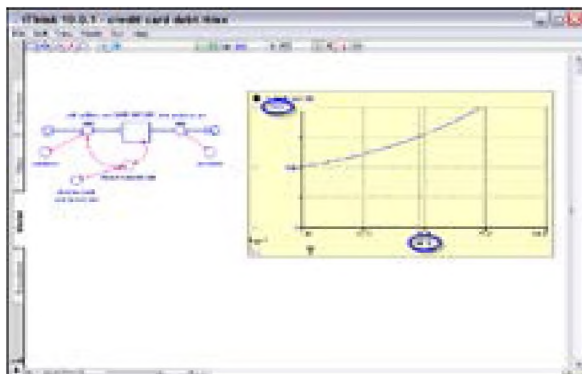
Рис. 4.14. Ініціалізація потоку debt addition rate

2. Перш ніж запустити модель, ще раз викличте меню графіка та змініть його розмірність (Scale) з (0...5000) до (0...10000), як зображено на рис. 4.15.



Рис. 4.15. Меню графіків та його можливості в пакеті iThink

Тепер запустіть нову модель кнопкою Run аналогічно до пункту 8. Отримані результати мають виглядати, як зображено на рис. 4.16.



**Рис. 4.16.** Результати імітації моделі з доданим ефектом нарахованих відсотків

З графіка видно, що з часом борг зростає і становить 7500 на 48-му тижні.

3. Для того щоб борг погашався за планом студента, необхідно включити витрати на обслуговування картки у плату, яку студент вносить до банку кожного місяця. Для реалізації цього створіть конвертор з назвою *Additions to CC debt*. У цьому конверторі буде підсумовано всі витрати за кредитною картою студента щомісяця. З'єднайте його з щомісячними витратами *purchases* та платою за обслуговування картки *interest added to debt*. Потім за допомогою панелі рівнянь ініціалізуйте новий конвертор як суму двох вхідних. Процес створення елемента *Additions to CC debt* показано на рис. 4.17.

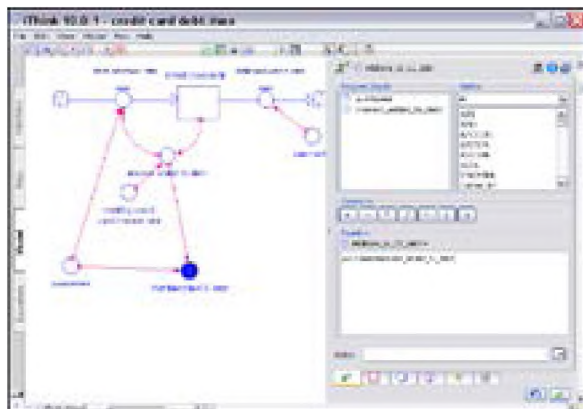


Рис. 4.17. Ініціалізація конвертора Additions to CC debt

Тепер з'єднайте його з конвертором payments. У конверторі payments змініть поточне значення на суму вхідного конвертора та 50 гривень, якими студент планував погашати борг щомісяця, як показано на рис. 4.18.

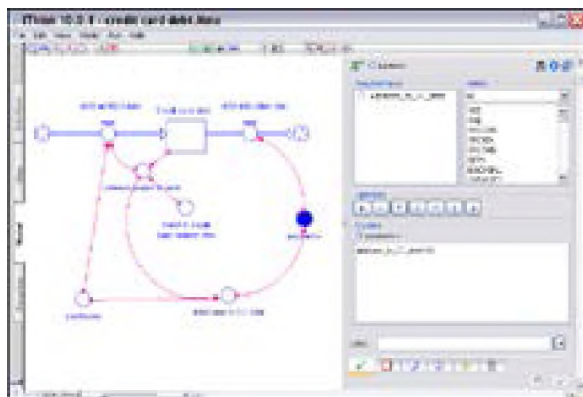


Рис. 4.18. Ініціалізація конвертора payments

4. Закрийте вікно панелей і знову запустіть модель. З новою структурою графік запасу має виглядати так, як зображено на рис. 4.19.

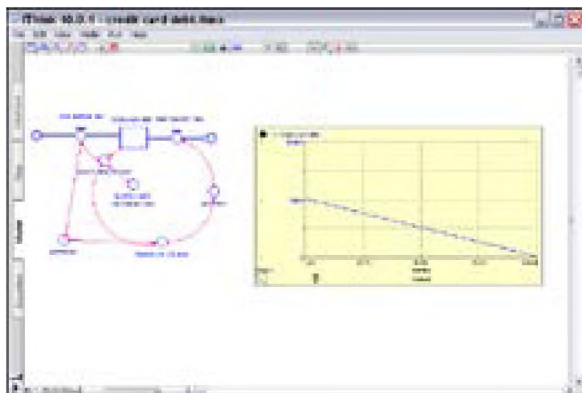


Рис. 4.19. Поведінка запасу боргу за оновленою структурою моделі

З графіка видно, що тепер модель відповідає очікуванням студента – кожного місяця борг зменшується на 50 гривень та повністю погашається через 100 місяців ( $5000/50=100$ ). Але для цього потрібно врахувати і сплачувати нараховані відсотки за користування картою.

*3. Побудуйте модель, за якої борг погашається приблизно за три роки та за один рік.*

Для того щоб погасити борг за три роки, використаємо один із ключових принципів системної динаміки – систему зворотнього зв'язку першого порядку. З теорії відомо, що вона складається з таких елементів: запас (stock); потік (flow); мета (goal) – цільовий стан запасу в моделі; різниця (gap) між запасом і метою; час пристосування (adjustment time) запасу до мети.

У нашому випадку запасом є сам борг, потоком є гроші, які студент сплачує до банку щомісяця, щоб його погасити, метою є нульовий борг, а часом пристосування є термін у 12 місяців. Відомо, що у подібних системах запас досягає мети на 95 % за три часи пристосування. Отже, обравши час пристосування у 12 місяців, за три роки ми гарантовано покриємо борг на 95 %. Перейдемо до моделювання.

Щоб реалізувати цю систему в iThink, необхідно додати такі конвертори:

CC debt goal – мету, яка в нашому випадку становить 0 на кредитній картці;

CC debt gap – різницю між запасом та метою;

CC debt adj time – час пристосування, який становить 12 місяців;

adjustment to CC debt – частину запасу боргу, яку треба відняти від запасу в кожний період часу, щоб наблизити його до мети за вказану кількість періодів (це своєрідна інтерпретація потоку (flow) з системи зворотнього зв'язку першого порядку). Її позначатиме конвертор, який опосередковано збільшуватиме вихідний потік через payments. Він винесений окремо через те, що нам також необхідно включити плату за обслуговування кредитної картки (Additions to CC debt).

Отже, створіть описані конвертори і поєднайте їх, як показано на рис. 4.20.

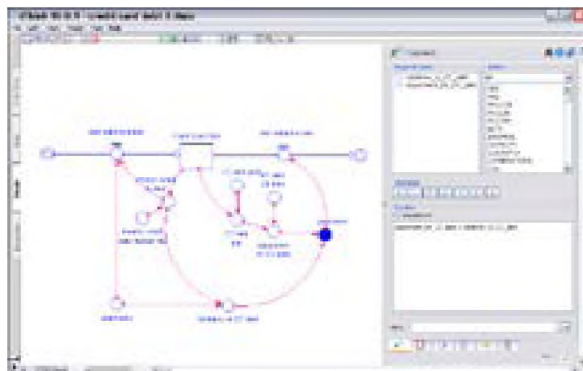


Рис. 4.20. Реалізація системи зворотнього зв'язку першого порядку в моделі

Ініціалізуйте з'єднані елементи відповідно до наведених значень:

$\text{payments} = \text{adjustment\_for\_CC\_debt} + \text{Additions\_to\_CC\_debt}$ ;

$\text{adjustment to CC debt} = \text{CC debt gap} / \text{CC debt adj time}$ ;

$\text{CC debt adj time} = 12$ ;

$\text{CC debt gap} = \text{Credit\_Card\_Debt} - \text{CC\_debt\_goal}$ ;

$\text{CC debt goal} = 0$ .

З теорії відомо, що система зворотнього зв'язку першого порядку генерує цілеспрямовану поведінку (Goal-Seeking Behavior). Отже,



переконаємося, що рішення було правильним. Запустимо модель і розглянемо графік поведінки запасу. Якщо всі рівняння були введені правильно, у вас має вийти графік, подібний до того, який наведено на рис. 4.21.

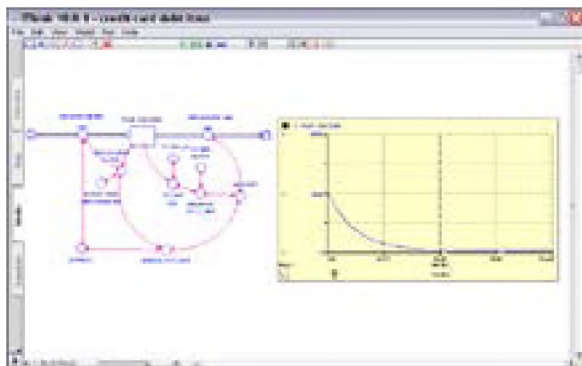



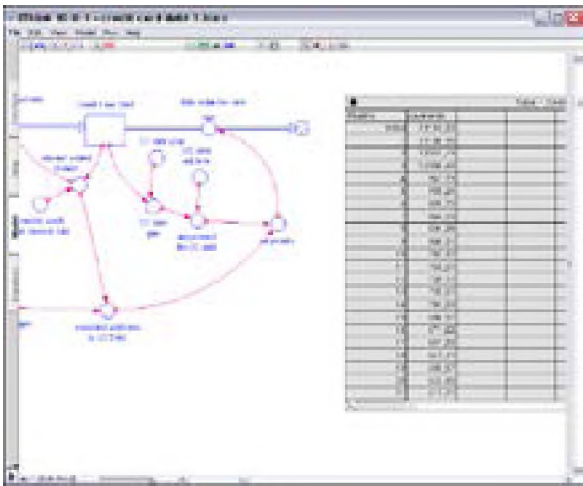
Рис. 4.21. Графік запасу боргу оновленої структури моделі

Дійсно, до 36 місяця борг майже погашено та крива має вигляд графіка цілеспрямованої поведінки. Тепер, якщо вивести всі payments за 48 місяців, студент знатиме, скільки йому треба було сплачувати, щоб покрити борг на 95 %. Щоб вивести дані в табличному вигляді, виберіть панель таблиць  на панелі інструментів, вставте вибрану таблицю в порожнє місце файлу та закріпіть її (натиснувши на кружечок зліва зверху, як це було зроблено у випадку з графіками). Після цього подвійним кліком лівої кнопки миші викличте меню графіків, як зображено на рис. 4.22, та виберіть компонент моделі, значення якого потрібно вивести в таблиці. Через те, що нас цікавить, скільки студенту варто сплачувати щомісяця для покриття боргу, виберіть конвертор payments. Щоб постійно не викликати меню, достатньо лише перетягнути потрібний вам елемент на таблицю.



**Рис. 4.22.** Меню графіків у пакеті iThink

Якщо все було зроблено правильно, таблиця значень внесків студента має виглядати, як на рис. 4.23.

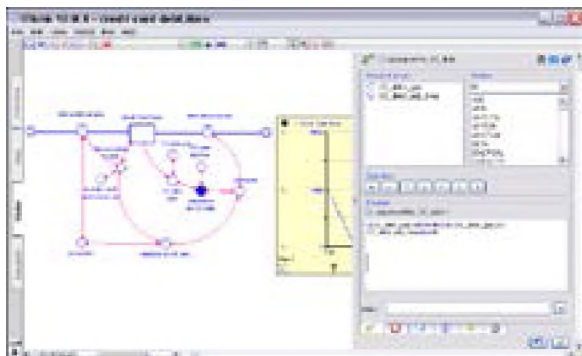


**Рис. 4.23.** Таблиця внесків payments в пакеті iThink

Щоб, за 12 місяців, не змінюючи структури моделі, погасити борг, необхідно зафіксувати різницю між запасом та метою на рівні

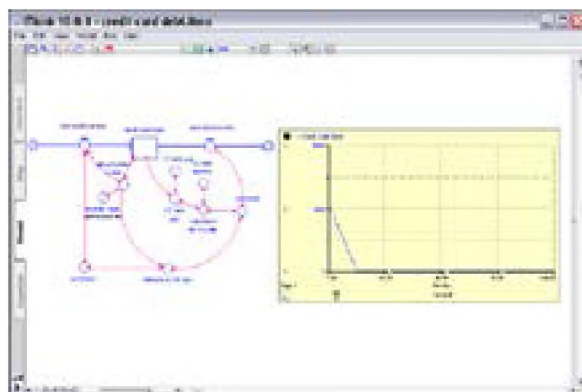
нульового періоду. Таким чином, до вихідного потоку весь час додаватиметься одна дванадцята від початкової величини запасу (у нульовому періоді) і погасить його через 12 періодів (тобто через 12 місяців). Це можна реалізувати за допомогою процедури `history(X,0)`, де замість `X` стоїть елемент, який треба зафіксувати, `0` – позначатиме номер періоду, в якому потрібно зафіксувати обраний елемент.

Отже, для фіксації різниці, введіть умовний вираз у конвертор пристосування `adjustment_for_CC_debt`, як показано на рис. 4.24 (`adjustment to CC debt = if(CC_debt_gap>0)then(history(CC_debt_gap,0) / CC_debt_adj_time)else(0)`)



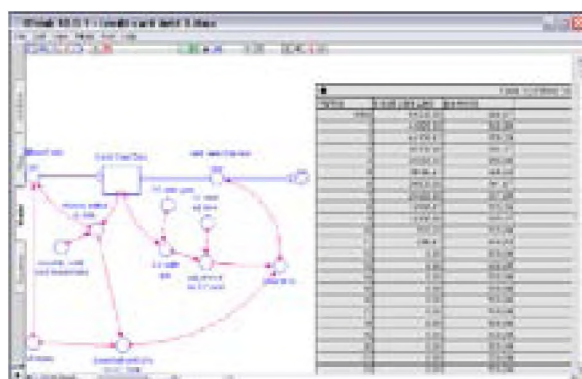
**Рис. 4.24.** Ініціалізація конвертора пристосування `adjustment_for_CC_debt` з фіксованою різницею між запасом і метою

Запустіть знову модель. Ви маєте отримати графік, як на рис. 4.25.



**Рис. 4.25.** Графік запасу оновленої моделі з фіксованою різницею між запасом та метою

З графіка видно, що в останньому варіанті моделі борг погашається за час пристосування, тобто рівно за 12 місяців. Значення payments у табличному вигляді мають виглядати, як на рис. 4.26. Цього разу ми ще додали значення боргу, щоб унаочнити, як він погашається за 12 періодів.



**Рис. 4.26.** Таблиця внесків payments та боргу в пакеті iThink

Щоб подивитися всі рівняння моделі, що автоматично генеруються в системі, достатньо перейти на вкладку Equations, як показано на рис. 4.27.



Рис. 4.27. Вкладка Equations з рівняннями моделі банківського рахунку в пакеті iThink

Таким чином, за допомогою принципів системної динаміки та інструментів пакета iThink було повністю вирішено запропоновану ситуацію. Для подальшого вивчення та детального розгляду властивостей пакета iThink можна звернутися до вкладки Help на панелі меню.

## 5. Практичний кейс 2. Приклад побудови моделі сектора споживання домогосподарств України в середовищі iThink

На відміну від попереднього кейса, наступний приклад відноситься до категорії макромоделі.

**Практичний кейс 2.** *За допомогою методів системної динаміки побудуйте модель споживання домогосподарств, яка б пояснювала динаміку реального обсягу приватного споживання в Україні та дозволяла отримувати якісні прогнози.*

Для моделювання динаміки реального обсягу приватного споживання в Україні буде використано кейнсіанський підхід. А саме визначення загального споживання через наступну функцію:

$$C = c_0 + c_1 Y,$$

де  $C$  – загальне споживання;  $c_0$  – необхідне споживання (автономне);  $c_1$  – гранична схильність до споживання доходу;  $Y$  – використовуваний дохід споживачів;  $c_1 Y$  – дискреційне споживання.

Період моделювання: 2002–2010 рр.

Процес моделювання споживання надалі проходитиме через описані вище складові функції споживання за Кейнсом та їх інтерпретації мовою системної динаміки.

1. Відкрийте iThink. Ви зразу опиняєтесь у новому файлі формату itmх чи itm – залежно від версії програми. Після цього потрібно зберегти файл з назвою consumption sector.

2. Перейдіть у вкладку Модель (Model Layer). Це можна зробити безпосередньо у вікні або натиснувши Ctrl+3.

3. Оскільки для реалізації запропонованого прикладу було взято дані з сайту Державного комітету статистики України в період з 2002 до 2010 року, необхідно специфікувати одиниці часу майбутньої моделі. Для цього на панелі меню виберіть Run/Run Specs..., як зображено на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Специфікація одиниць часу в пакеті iThink

Вікно Run Specs, що з'явилося перед вами, заповніть так, як зображено на рис. 5.2.

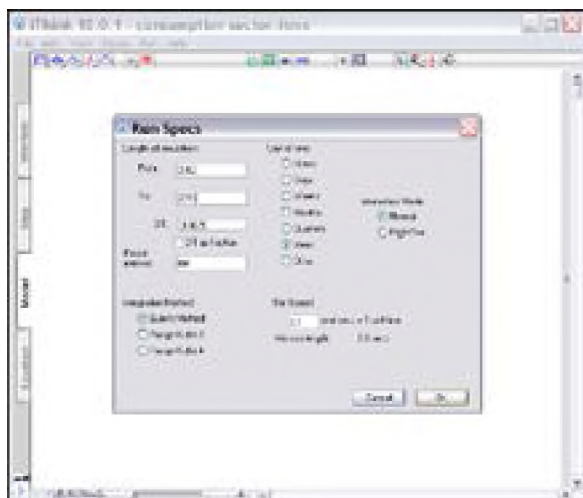



Рис. 5.2. Специфікація одиниць часу в пакеті iThink. Вікно Run Specs

На цьому етапі моделювання основними є одиниці часу та тривалість імітації. У нашому випадку одиниці часу – це роки (Years), а тривалість імітації – з 2002 по 2010 рік.

Тепер можна переходити безпосередньо до моделювання.

4. Щоб створити перший компонент функції споживання – необхідне споживання  $c_0$  – на панелі інструментів треба вибрати значок конвертора  та вставити його у файл. Виділену назву Noname 1 поміняйте на Essential Consumption, як зображено на рис. 5.3.

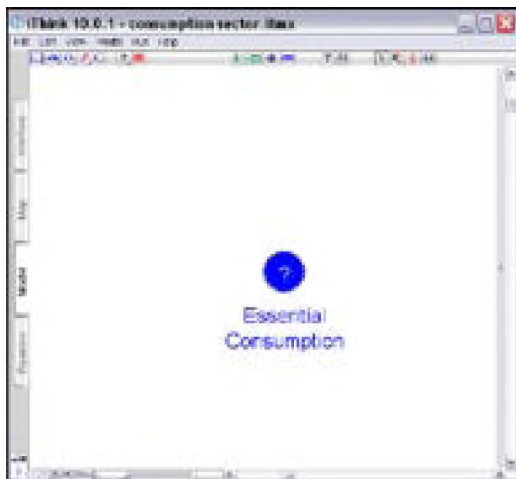


Рис. 5.3. Визначення елемента Essential Consumption у пакеті iThink



Знак питання в середині конвертора вказує на те, що цей елемент моделі не визначений. У Кейнса ця частина споживання описується як рівень споживання, завдяки якому людина може вижити. Тому визначимо його як добуток прожиткового мінімуму та кількості населення в країні. Отже, для ініціалізації конвертора необхідного споживання створіть два інших конвертора з відповідними назвами Historical poverty threshold та Historical population. Після цього під'єднайте ці два конвертори до конвертора Essential Consumption. Щоб їх з'єднати, виберіть з'єднувач , виділіть ним кожний конвертор і тягніть стрілку до потрібного конвертора Essential Consumption. Якщо все було правильно зроблено, то результат має виглядати, як зображено на рис. 5.4.





Рис. 5.4. Визначення елемента Essential Consumption у пакеті iThink

Тепер покроково проініціалізуємо кожний елемент.

**Historical population** – це статистичний показник. Він показує чисельність України на перше січня кожного року періоду, який розглядається. Для його ініціалізації двічі натисніть лівою клавішею миші на конвертор, щоб визвати меню панелей. У вікні панелей виберіть панель рівнянь , як показано на рис. 5.5.

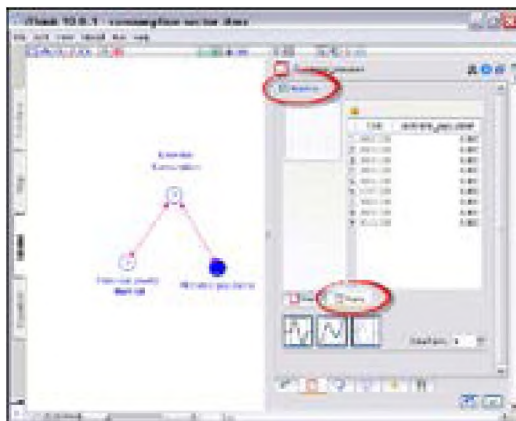
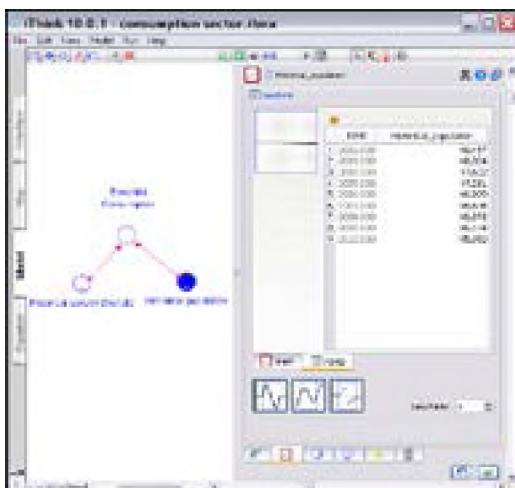


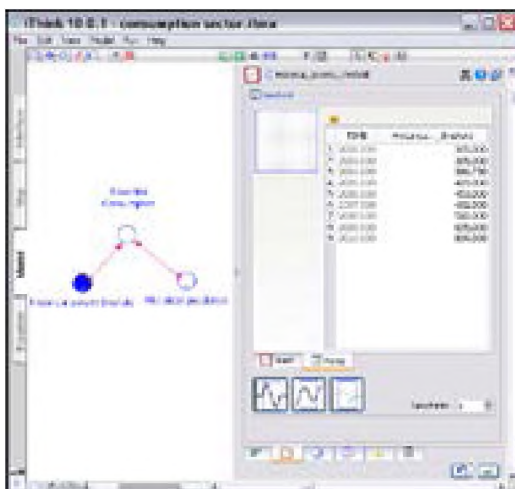
Рис. 5.5. Панель графіків у меню панелей пакета iThink

Для того щоб заповнити статистичними даними обраний показник, необхідно поставити галочку біля слова Graphical та перейти у вкладку Points. Ви бачите, що у вікні Points з'явився часовий ряд обраного показника з нульовими значеннями. Заповніть ці нулі статистичними даними безпосередньо з сайту державної служби статистики України чи відповідно до значень, що наведені на рис. 5.6. При цьому необхідно ввести дані, поділені на 1 млн, щоб узгодити числа з іншими змінними. Після цього натисніть галочку (Apply) в правому нижньому кутку панелі, щоб підтвердити зміни в конверторі.



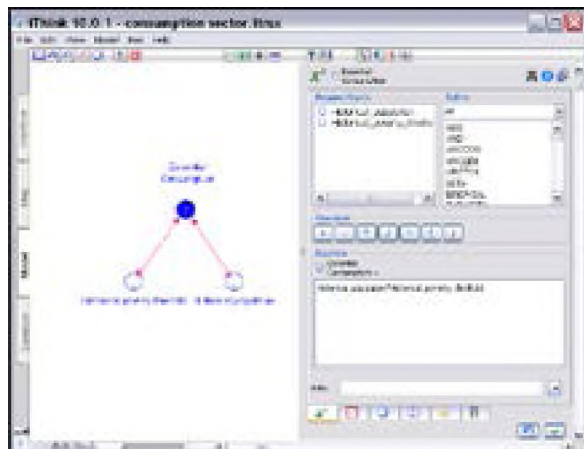
**Рис. 5.6.** Заповнення статистичними даними показника Historical population у меню панелей пакета iThink

Historical poverty threshold: визначте його аналогічним чином, вставивши значення, зображені на рис. 5.7.





**Рис. 5.7.** Заповнення статистичними даними показника Historical poverty threshold у меню панелей пакета iThink

Тепер нарешті можна визначити необхідне споживання. Для цього подвійним кліком миші натисніть на конвертор Essential Consumption, викличте меню панелей і на панелі рівнянь  $\Sigma$  введіть рівняння добутку двох вхідних конверторів із вкладки Required inputs. Деталі цього процесу зображено на рис. 5.8.



**Рис. 5.8.** Визначення конвертора Essential Consumption через вхідні конвертори в пакеті iThink

3. Згідно з кейнсіанським рівнянням, модель споживання домогосподарств тісно пов'язана з доходом споживачів ( $Y$ ). Оскільки у моделі це зовнішній показник, потрібен конвертор зі статистичними даними доходу за потрібний період. Для цього на панелі інструментів треба вибрати значок конвертора  та вставити його у файл. Виділену чорним назву Noname 1 поміняйте на Nominal Disposable Income. Після цього двічі натисніть лівою клавішею миші на конвертор, щоб викликати меню панелей. У вікні панелей виберіть панель графіків , як показано на рис. 5.9.

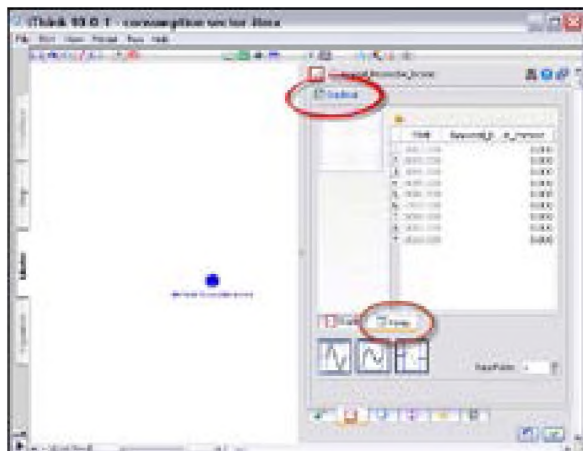
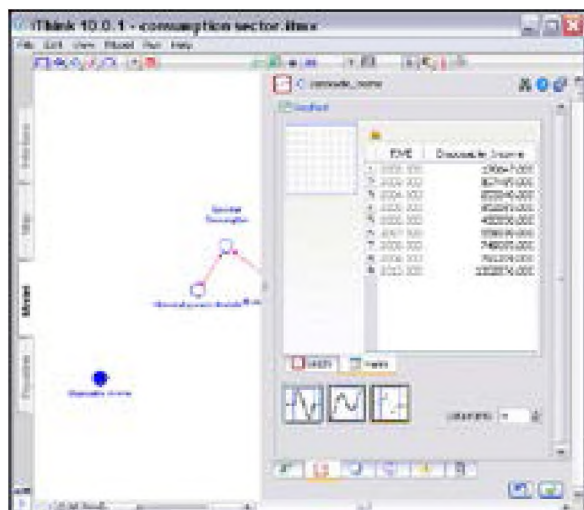


Рис. 5.9. Панель графіків у меню панелей пакета iThink

Для того щоб заповнити статистичними даними обраний показник, необхідно поставити галочку біля слова **Graphical** та перейти у вкладку **Points**. У вікні **Points** перед вами часовий ряд обраного показника з нульовими значеннями. Замість нулів впишіть статистичні дані, як зображено на рис. 5.10. Після цього натисніть галочку (**Apply**) в правому нижньому кутку панелі, щоб підтвердити зміни в моделі.



**Рис. 5.10.** Заповнення статистичними даними показника Disposable Income в меню панелей пакета iThink

Тепер, маючи обидва компоненти, ми можемо визначити ту частину доходу, яка залишилась після задоволення базових потреб через необхідне споживання. Для цього створіть конвертор з назвою Consumption apart from Essential і під'єднайте до нього використовуваний дохід (Disposable Income) та необхідне споживання (Essential Consumption), як зображено на рис. 5.11. Після цього на панелі рівнянь визначте цей конвертор як різницю між двома вхідними.

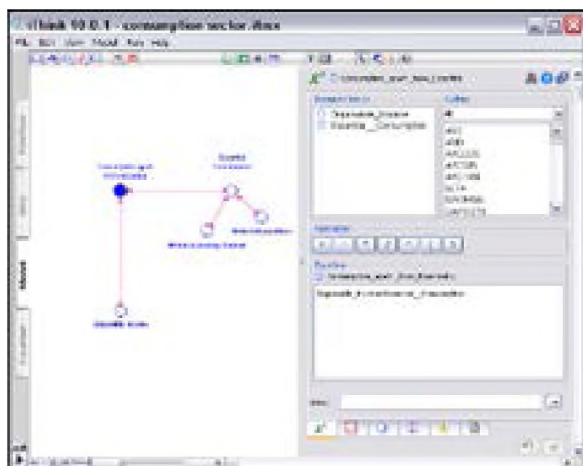


Рис. 5.11. Створення конвертора Consumption apart from Essential

4. Тепер можна визначити другу основну складову функції споживання – дискреційне споживання. Для цього спершу створіть конвертор Discretionary consumption та під'єднайте до нього вже створений конвертор Consumption apart from Essential, як зображено на рис. 5.12.

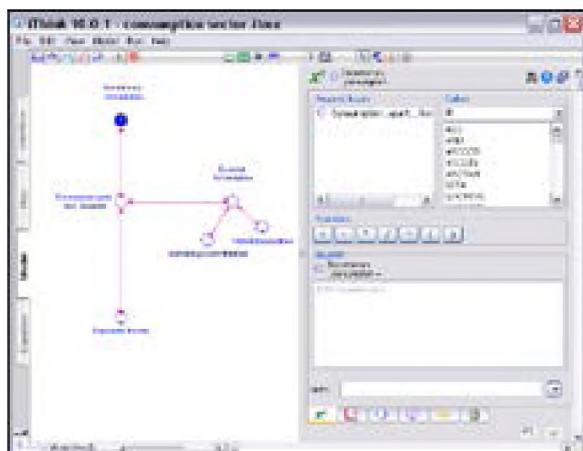



Рис. 5.12. Створення конвертора Discretionary consumption

Як відомо з формули споживання, цей компонент складається з добутку тієї частини доходу, який використано (він називається *Consumption apart from Essential*), та граничної схильності до споживання  $C_1$ . Гранична схильність до споживання – це величина, котра показує, як зміниться обсяг споживання, якщо використовуваний дохід буде змінено на одну одиницю. В моделі Кейнса, на відміну від пізніших моделей споживання, ця величина змінюється зі зміною доходу. Проте відомо, що на цей показник також впливають такі фактори, як рівень цін, податки, ставка відсотка, очікування та ін. Такий комплексний показник, що змінюється під впливом багатьох факторів, краще за все зображати мовою системної динаміки у вигляді системи зворотного зв'язку першого порядку. З теорії відомо, що вона складається з таких елементів: запас (stock), потік (flow), мета (goal) – цільовий стан запасу в моделі, різниця (gap) між запасом і метою, час пристосування (adjustment time) запасу до мети. Почнемо з запасу.

Запас (stock) – це гранична схильність до споживання. Тому, створимо перший запас з назвою MPC from discretionary income. Для цього на панелі інструментів виберіть значок  (Stock) та вставте його в простір файлу. Виділену чорним назву *Noname 1* поміняйте на MPC from discretionary income. Після цього, натисніть лівою клавішею миші на запас MPC from discretionary income, щоб визвати меню панелей. У вікні панелей виберіть панель рівнянь і введіть початкове значення 0.9. Після цього натисніть галочку (Apply) в правому нижньому кутку панелі, щоб підтвердити зміни в моделі. Деталі цієї процедури можна подивитись на рис. 5.13



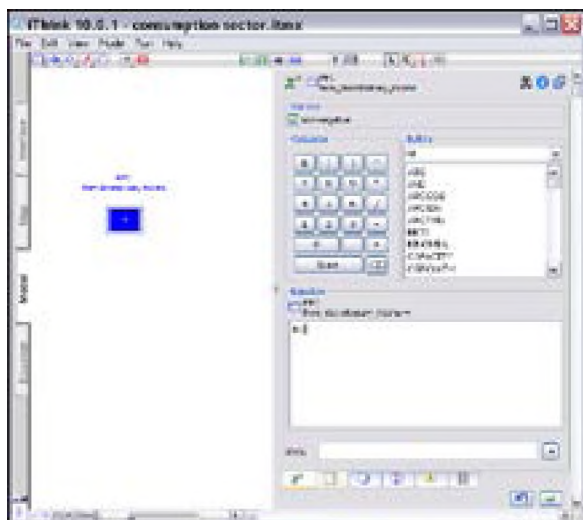



Рис. 5.13. Створення запасу MPC from discretionary income

Потік (flow). Далі необхідно створити потік, що буде його змінювати. Для цього достатньо вибрати на панелі інструментів значок потоку  (Flow) та під'єднати його до запасу MPC from discretionary income. Для того щоб потік змінював запас в обидва боки (і зменшував, і збільшував), спочатку необхідно приєднати його стрілкою, спрямованою до запасу, а після цього викликати меню панелей та вибрати Biflow замість Uniflow у вкладці Options. Аналогічно замість виділеної чорним назви Noname 1 впишіть chg in MPC from discretionary income. Процес створення потоку показано на рис. 5.14.

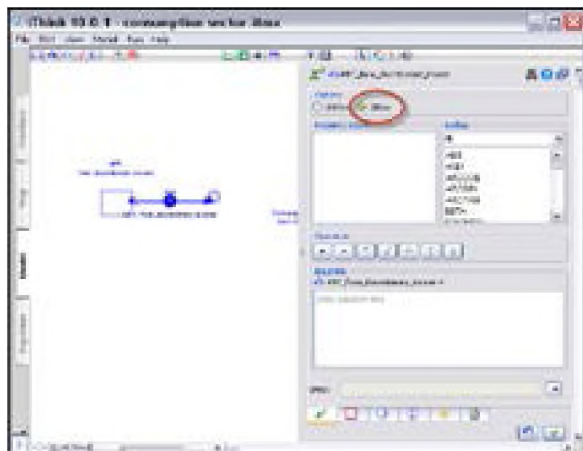


Рис. 5.14. Створення потоку chg in MPC from discretionary income

**Мета (goal).** Метою буде скоригований на декілька факторів показник граничної схильності до споживання. Тобто тепер зосередимось на факторах, що беруть участь у формуванні певної мети. З усіх факторів, що впливають на граничну схильність до споживання, оберемо відсоткову ставку. Як відомо, зміна ставки відсотка впливає на співвідношення між поточним і майбутнім споживанням і заощадженням. Коли відсоткова ставка зростає, поточне споживання зменшується, а заощадження зростають, що збільшить майбутнє споживання, забезпечене поточними заощадженнями. Таким чином, домашні господарства заміщують частку споживання у поточному періоді збільшенням споживання у майбутньому.

Гранична схильність до споживання буде змінюватися під впливом таких факторів:

1) еластичність відсоткової ставки споживання Interest Rate Elasticity of Discretionary Consumption (IREC). Цей показник змінюється під впливом еластичності відсоткової ставки заощаджень Interest Rate Elasticity Of Savings (IRES) за допомогою рівняння:

$$IREC = - IRES / (MPC / (1 - MPC));$$

2) ефект відсоткової ставки за кредитами на споживання Interest Rate Effect On Discretionary Consumption, що змінюється під впли-

вом відсоткової ставки за кредитами Lending Rate та еластичності відсоткової ставки споживання за допомогою наступного рівняння:

$$\text{Interest Rate Effect On Discretionary Consumption} = 1 + ((\text{Lending\_Rate} - \text{init}(\text{Lending\_Rate})) / \text{init}(\text{Lending\_Rate})) * \text{IREC}.$$

Щоб реалізувати мовою iThink процес взаємовпливу описаних факторів та їх вплив на запас граничної схильності до споживання, створимо спочатку два другорядні конвертори, що впливають на запас опосередковано: відсоткову ставку за кредитами Lending Rate та еластичність відсоткової ставки заощаджень interest rate elasticity of saving (IRES).

Перший конвертор Lending Rate має бути наповнений значеннями відсоткової ставки за певний період, як зображено на рис. 5.15.

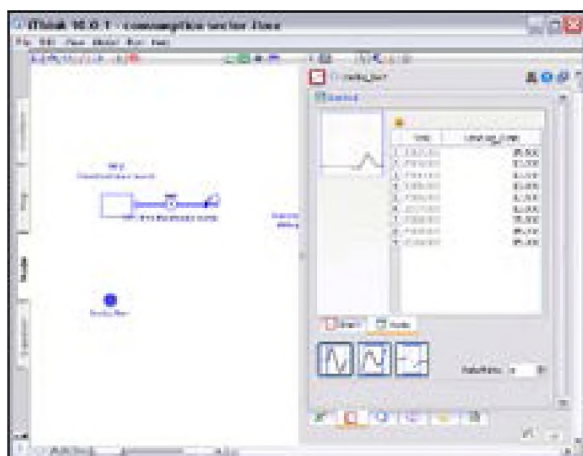


Рис. 5.15. Створення конвертора Lending Rate

Другий конвертор має містити значення 0.2, як зображено на рис. 5.16.

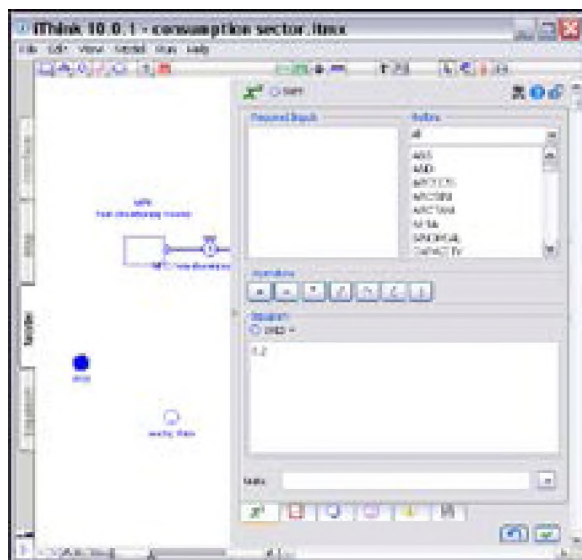


Рис. 5.16. Створення конвертора IRES

Тепер створіть конвертор із назвою Interest Rate Elasticity Of Discretionary Consumption та під'єднайте до нього з'єднувачем запас MPC from discretionary income та конвертор IRES, як зображено на рис. 5.17.

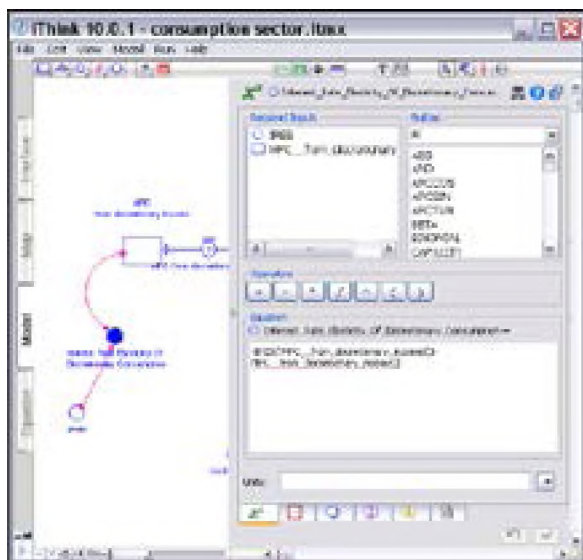


Рис. 5.17. Створення конвертора Interest Rate Elasticity Of Discretionary Consumption

Бачимо, що ініціалізацію конвертора проведено через рівняння, що було наведено вище для відповідного показника.

Тепер створіть конвертор з назвою Interest Rate Effect on Discretionary Consumption та під'єднайте до нього конвертори Interest Rate Elasticity Of Discretionary Consumption та Lending Rate. Визначте створений конвертор через рівняння, як зображено на рис. 5.18.

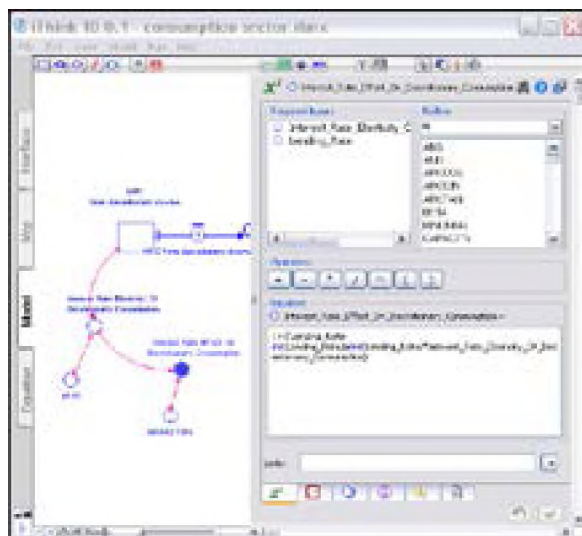


Рис. 5.18. Створення конвертора Interest Rate Effect On Discretionary Consumption

Після опису факторів впливу можна нарешті ввести мету (goal), тобто створити конвертор, що набуватиме значення поточної граничної схильності до споживання для кожного року. В кожному періоді такий конвертор порівнюватиметься із запасом і різниця між ними буде додаватися до запасу чи відніматись залежно від знаку цієї різниці.

Тому створіть конвертор з назвою Indicated MPC from Discretionary Income та з'єднайте його з запасом MPC from discretionary income, конвертором Interest Rate Effect On Discretionary Consumption та потоком MPC from discretionary income, як показано на рис. 5.19.

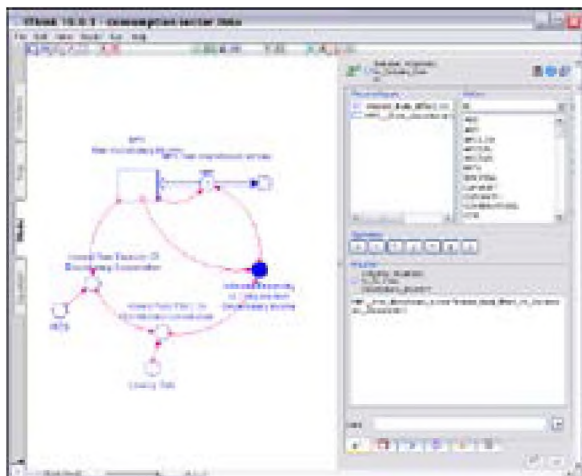


Рис. 5.19. Створення конвертора Indicated MPC from Discretionary Income

Формула в конверторі буде визначати скорегований запас у кожному періоді

$$MPC \text{ from discretionary income} = (Indicated\_Propensity\_to\_Consume\_from\_Discretionary\_Income - Indicated\_Propensity\_to\_Consume\_from\_Discretionary\_Income) / Time\_to\_adjust\_DI\_consumption\_propensity.$$

**Час пристосування (adjustment time).** Щоб закінчити формування системи зворотного зв'язку першого порядку, необхідно ввести конвертор часу пристосування з назвою Time to adjust DI consumption propensity, ініціалізувати його протягом 2 років та під'єднати до потоку, як зображено на рис. 5.20.

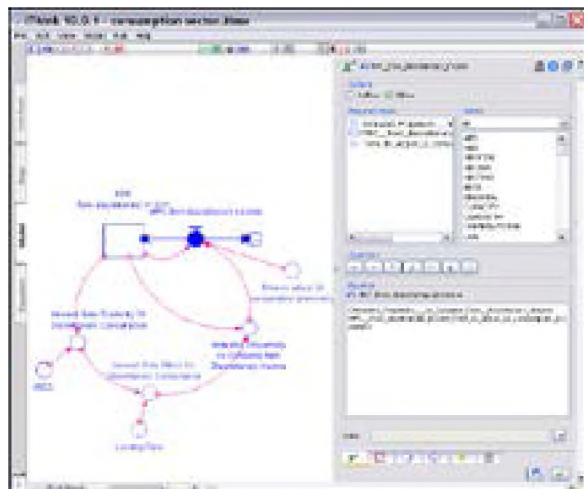


Рис. 5.20. Реалізація системи зворотного зв'язку першого порядку

Зазначимо, що в зображеній схемі не вистачає так званої різниці (gap) між запасом і метою. Її функцію реалізовано в потоці. З рівняння потоку на рис. 5.20 видно, що кожного разу запас коригується не на якесь певне значення, а через різницю (gap), поділений на час пристосування. У цьому випадку різниця є різницею між очікуваним та поточним значенням граничної схильності до споживання. ( $MPC_{from\_discretionary\_income} = (Indicated\_Propensity\_to\_Consume\_from\_Discretionary\_Income - MPC_{from\_discretionary\_income}) / Time\_to\_adjust\_DI\_consumption\_propensity$ ).

Таким чином, додавання функції різниці в потік повністю налагоджує роботу системи зворотного зв'язку моделі.

Тепер за наявності скоригованого показника граничної схильності до споживання можна приєднати його до конвертора дискреційного споживання. Але замість того, щоб просто перемножувати частину використаного доходу Consumption apart from Essential на скоригований для кожного періоду показник граничної схильності до споживання від дискреційного доходу MPC from discretionary income, необхідно використати гіпотезу Фрідмана, за якою споживачі адаптують свої витрати поступово до змін в їхніх доходах, тобто з певним лагом реагують на отриманий дохід. Цього ефекту



можна досягти за допомогою вбудованої функції SMTH1 пакета системної динаміки iThink, як зображено на рис. 5.21. Щоб реалізувати цю процедуру, спочатку створіть конвертор, що буде позначати термін злагоджування. Для цього прикладу було обрано один місяць, тобто  $1/12$  (0.083) часової одиниці моделі. Назвіть його Time to respond to change in income. Потім приєднайте його до конвертора Discretionary consumption і введіть рівняння, що зображено на рис. 5.21. Таким чином, реакцію споживачів на зміни в доході буде згладжено на один місяць.

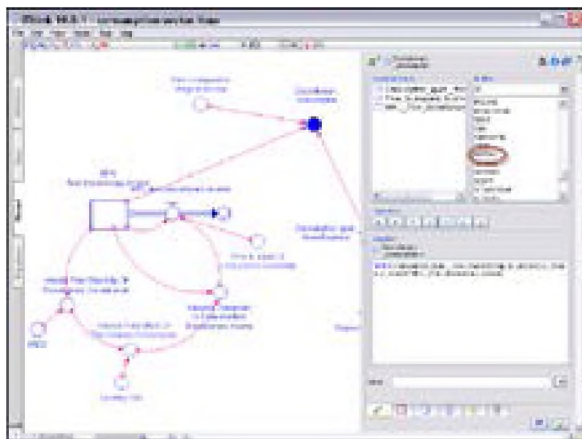


Рис. 5.21. Злагоджування функції споживання

7. Тепер можна нарешті сформувати показник загального споживання. Маючи обидва компоненти загального споживання, створіть конвертор Simulated Total Consumption. У ньому додайте два основні компоненти функції Кейнса Essential Consumption та Discretionary consumption, як показано на рис. 5.22.

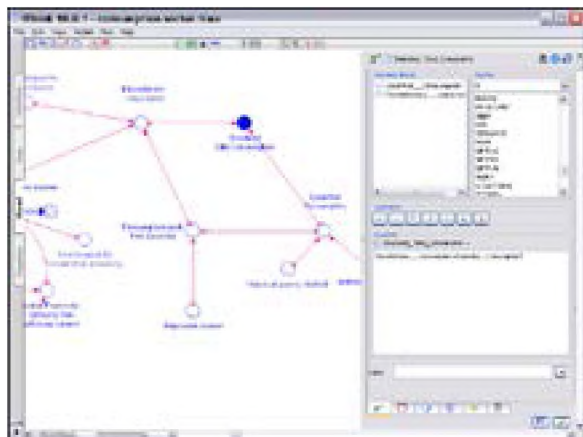



Рис. 5.22. Створення конвертора

Нарешті отримано модель сектора споживання домогосподарств України. Тепер проімітуйте модель за період 8 років. Щоб прослідкувати за поведінкою загального споживання в динаміці, можна використовувати таблиці чи графіки. Проаналізуємо споживання у часі на графіку. Для цього на панелі інструментів виберіть панель графіків  та вставте її у порожнє місце файлу. Для того щоб закріпити графік на потрібному місці, натисніть на чорний кружечок у лівому верхньому кутку графіка, як зображено на рис. 23. Тепер два рази клацніть лівою клавiшею миші на графіку, щоб визвати його меню. Як зображено на рис. 5.23 знизу, з лівого списку елементів моделі в правий вам необхідно перенести ті об'єкти, які ви хочете бачити на графіку. Також на полях знизу можна виставляти діапазон значень, у межах яких буде побудовано графік. Отже, на графіку необхідно зобразити поведінку конвертора Simulated Total Consumption. Натисніть ОК – і модель готова для імітації.

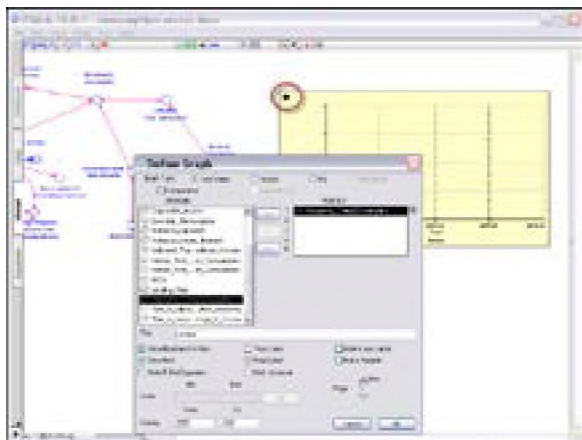


Рис. 5.23. Налаштування панелі графіків у пакеті iThink

Для того щоб проімітувати модель, натисніть кнопку Run у лівому нижньому кутку вікна (або комбінацію клавіш Ctrl+R). Позначена кружечком кнопка Run та результати імітації наведено на рис. 5.24. Якщо все було виконано правильно, буде отримано графік, що зображений на рис. 5.24.

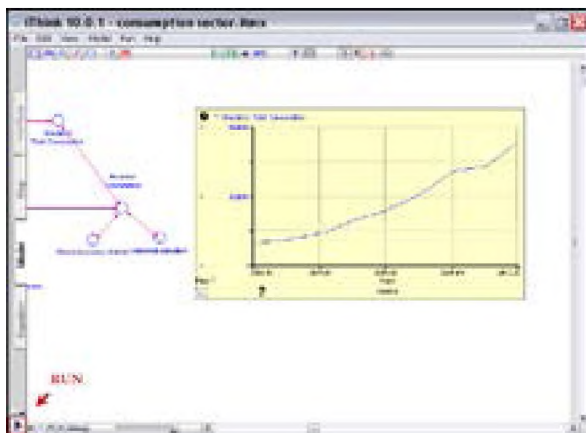
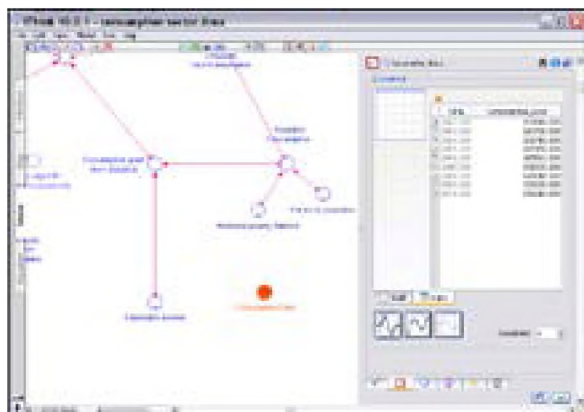


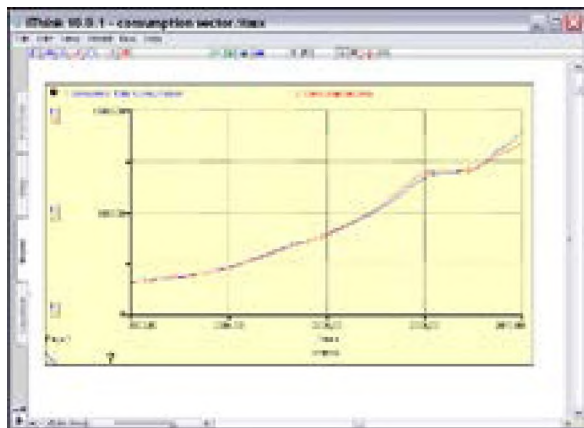
Рис. 5.24. Результати імітації моделі споживання домогосподарств України

Тепер, маючи згенеровану криву споживання, цікаво порівняти отримані результати зі статистичними. Для цього створіть конвертор Consumption Data та заповніть його даними, як показано на рис. 5.25.




**Рис. 5.25.** Створення конвертора зі статистичними даними споживання домогосподарств

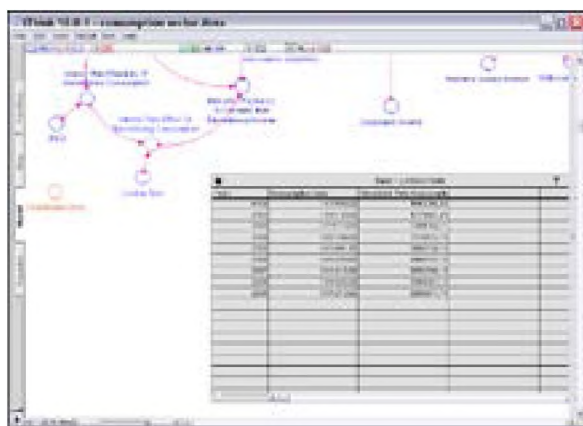
Після цього знову викличте меню уже створеного графіка і додайте новий компонент із назвою Consumption Data. Ще раз проімітуйте модель. Отримані графіки мають виглядати, як зображено на рис. 5.26.



**Рис. 5.26.** Графіки змодельованої та статистичної кривих споживання домогосподарств України

З графіка видно, що змодельована крива доволі добре відтворює поведінку споживання домогосподарств.

Щоб вивести дані в табличному вигляді, виберіть панель таблиць  на панелі інструментів, вставте вибрану таблицю в порожнє місце файлу та закріпіть її, натиснувши на кружечок зліва зверху, як це було зроблено у випадку з графіками. Після цього подвійним кліком лівої кнопки миші викличте меню таблиць та виберіть компонент моделі, значення якого потрібно вивести в таблиці. Оскільки нас цікавить змодельоване та статистичне значення споживання, виберіть *Simulated Total Consumption* та *Consumption Data*. Щоб кожного разу не викликати меню, достатньо лише перетягнути потрібний вам елемент на простір таблиці. Отримана таблиця зі значеннями має виглядати, як зображено на рис. 5.27.



Year	Simulated Total Consumption	Consumption Data
1980	1000	1000
1981	1050	1050
1982	1100	1100
1983	1150	1150
1984	1200	1200
1985	1250	1250
1986	1300	1300
1987	1350	1350
1988	1400	1400
1989	1450	1450
1990	1500	1500
1991	1550	1550
1992	1600	1600
1993	1650	1650
1994	1700	1700
1995	1750	1750
1996	1800	1800
1997	1850	1850
1998	1900	1900
1999	1950	1950
2000	2000	2000
2001	2050	2050
2002	2100	2100
2003	2150	2150
2004	2200	2200
2005	2250	2250
2006	2300	2300
2007	2350	2350
2008	2400	2400
2009	2450	2450
2010	2500	2500
2011	2550	2550
2012	2600	2600
2013	2650	2650
2014	2700	2700
2015	2750	2750
2016	2800	2800
2017	2850	2850
2018	2900	2900
2019	2950	2950
2020	3000	3000

**Рис. 5.27.** Таблиця зі значеннями змодельованого та статистичного загального споживання

Щоб подивитись всі рівняння моделі, що автоматично генеруються в системі, достатньо перейти на вкладку *Equations*, як показано на рис. 5.28.

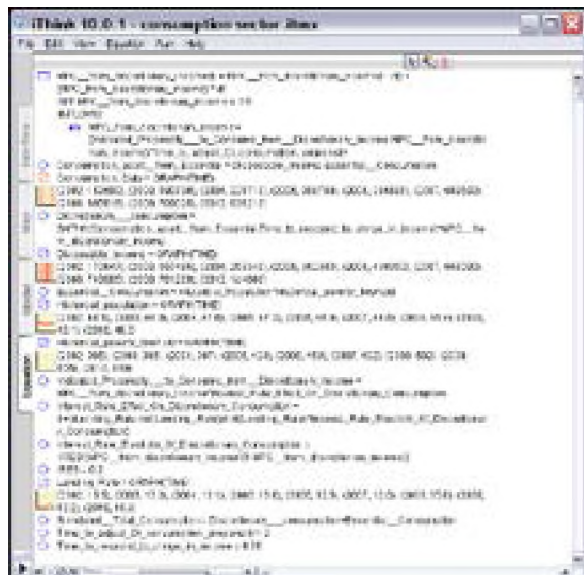


Рис. 5.28. Вкладка Equations з рівняннями моделі банківського рахунку в пакеті iThink

Таким чином, багатомайття принципів системної динаміки та інструментів пакета iThink дозволяє розкрити і вирішити запропоноване завдання. Для подальшого вивчення та детального розгляду властивостей пакета iThink можна звернутися до вкладки Help на панелі меню.

## Список літератури

1. Сайт пакета iThink [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iseesystems.com>. – Назва з екрана.
2. Онлайн-відеоуроки з використання пакета iThink [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iseesystems.com/community/downloads/tutorials/ModelBuilding.aspx>. – Назва з екрана.
3. Безкоштовна тридцятиденна версія останньої версії пакета [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iseesystems.com/community/downloads/ithink/ithinkDemo.aspx>. – Назва з екрана.
4. Сайт міжнародного товариства системної динаміки – System Dynamics Society [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.systemdynamics.org>. – Назва з екрана.
5. Сайт основної книги з системної динаміки – Sterman, John D. (2000). Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. McGraw [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mhhe.com/business/opsci/sterman>. – Назва з екрана.

Навчальне видання

*Девід Віт (David Wheat), Я. В. Стельмашенко, О. І. Фарина*

**Системно-динамічні моделі:  
основні етапи побудови моделей системної динаміки  
з використанням програмного пакета iThink 10**

*Практичний посібник з системною динамікою  
для роботи в комп'ютерному класі*

Редагування та коректура *Оксана Пашко*  
Художнє оформлення та комп'ютерна верстка *Андрій Шмаркатюк*

Підписано до друку 25.12.2013.  
Формат 60 x 84/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 3,5  
Наклад 200 прим. Зам. № \_\_\_\_

Адреса редакції:  
вул. Г. Сковороди, 2, Київ, 04655,  
тел./факс: (044) 463-6974; (044) 417-8461  
Головний редактор – С. М. Квіт  
Відповідальний секретар – О. В. Пашко

Свідцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів книжкової продукції серія № ДК 3631 від 23.11.2009 р.

Друк: ФОП Градова Н. П.  
Свідцтво про реєстрацію В03 №014354

В 54 Девід Віт (David Wheat). **Системно-динамічні моделі: основні етапи побудови моделей системної динаміки з використанням програмного пакета iThink 10.** Практичний посібник з системної динаміки для роботи в комп'ютерному класі / Девід Віт (David Wheat), Я. В. Стельмашенко, О. І. Фарина. – Київ : НАУКМА, 2013. – 56 с.

УДК 004.451.2/6:33.01

ISBN 978-966-2410-49-5